

**Monitoring aircraft projectile or missile - using two extrapolation units to predict flight path**

Patent Number: DE3401090  
Publication date: 1991-05-02  
Inventor(s): SCHUMACHER WOLFGANG DIPL-ING D  
Applicant(s): ESG ELEKTRONIK SYSTEM GMBH  
Requested Patent: ☐ DE3401090  
Application Number: DE19843401090 19840113  
Priority Number(s): DE19843401090 19840113  
IPC Classification: F41G7/20; G01S7/295; G01S7/35; G06F15/353; G06F15/58  
EC Classification: G01S13/72B  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

A measuring unit (114) establishes the instantaneous location and movement parameters of a flying object. A first extrapolation unit (118) predicts future values of the parameters, if necessary under the assumption that one of the parameters stays constant.  
A second extrapolation unit (120,122,124,126,130) considers an extrapolation error as a difference between the parameters calculated for a certain time and the parameters received from the object itself for this time, minimising the error so that it matches an error model in a continuous run of values.  
USE/ADVANTAGE - Improved accuracy of prediction. Suitable for military use.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Pat ntschrift  
10 DE 34 01 090 C 1

51 Int. Cl. 4:  
G 06 F 15/58  
G 06 F 15/353  
G 01 S 7/295  
F 41 G 7/20  
G 01 S 7/35

21 Aktenzeichen: P 34 01 090.4-53  
22 Anmeldetag: 13. 1. 84  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 2. 5. 91

DE 34 01 090 C 1

Erteilt nach § 54 PatG in der ab 1. 1. 81 geltenden Fassung  
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
ESG Elektronik-System-GmbH, 8000 München, DE

74 Vertreter:  
Weickmann, H., Dipl.-Ing.; Fincke, K., Dipl.-Phys.  
Dr.; Weickmann, F., Dipl.-Ing.; Huber, B.,  
Dipl.-Chem.; Liska, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Prechtel,  
J., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000  
München

72 Erfinder:  
Schumacher, Wolfgang, Dipl.-Ing. Dr., 8000  
München, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:  
US 41 46 780

54 Vorrichtung zur Überwachung von Flugobjekten

DE 34 01 090 C 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Überwachung von Flugobjekten nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei der Überwachung von Flugobjekten werden häufig Voraussagen über die zukünftige Flugbahn des Flugobjekts benötigt, beispielsweise bei der Luftraumüberwachung, um abschätzen zu können, ob es zu einer Kollision von Flugobjekten kommt, oder bei der Bekämpfung von Flugobjekten aufgrund der endlichen Flugzeit der Bekämpfungsprojekte oder dgl. Hierbei ist es bereits bekannt, eine Extrapolationseinheit einzusetzen, welche eine Voraussage über zukünftige Ortsparameter des betreffenden Flugobjekts liefert, zumeist unter der Annahme, daß einer der Bewegungsparameter des Flugobjekts, insbesondere dessen Beschleunigung, konstant bleibt. Eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, bei der der Extrapolationsfehler durch manuell eingegebene zusätzliche Parameter bezüglich des Flugobjekts verkleinert wird, ist der US-PS 41 46 780 zu entnehmen.

Die Aufgabe der Erfindung liegt darin, die Prognosegenauigkeit für den zukünftigen Ort des Flugobjekts mit baulich einfachen Mitteln zu verbessern.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Kennzeichens des Anspruchs 1 in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs gelöst. Die erste Extrapolationseinheit liefert Prognosewerte, welche ausschließlich von den gemessenen Ortskoordinaten und der ggf. gemessenen Geschwindigkeit des Flugobjekts zu einem bestimmten Zeitpunkt abhängen. Die zweite Extrapolationseinheit berücksichtigt den Extrapolationsfehler, also die Differenz zwischen den für einen Zeitpunkt vorausgerechneten Ortsparametern und den zu diesem Zeitpunkt tatsächlich vom Flugobjekt eingenommenen Ortsparametern und versucht, diesen Extrapolationsfehler zu minimieren. Dies geschieht durch fortwährende Anpassung eines dem zeitlichen Verlauf aufeinanderfolgender Extrapolationsfehler zugrunde gelegten Fehlermodells an die jeweils auftretenden Extrapolationsfehler.

Der Ausbau der bekannten Vorrichtung in eine erfindungsgemäß arbeitende Vorrichtung erfordert relativ geringen Aufwand, da die bekannte erste Extrapolationseinheit beibehalten werden kann und lediglich die zweite hinzugefügt werden muß.

Um in einfacher Weise die jeweiligen Extrapolationsfehler erhalten zu können, werden die Maßnahmen gemäß Anspruch 2 vorgeschlagen.

Der Bauaufwand verringert sich weiterhin, wenn die Extrapolationseinheit gemäß Anspruch 3 einen Prädiktionsfilter (Signalextrapolator) umfaßt anstelle beispielsweise eines Extrapolationsrechners.

Als Fehlermodell kommt beispielsweise ein Polynom zweiten oder höheren Grades infrage. Bevorzugt ist jedoch das Fehlermodell gemäß Anspruch 4, welches einer zeitinvarianten linearen Differentialgleichung zweiter Ordnung entspricht und bei relativ einfacher technischer Realisierung besonders gute Ergebnisse liefert.

Eine weitere Verbesserung der Voraussagegenauigkeit wird durch die Merkmale des Anspruchs 5 erreicht. Aufgrund des relativ kurzen Zeitintervalls, in welchem zurückliegende Extrapolationsfehler bei der Fehlermodellanpassung berücksichtigt werden, wird ausgeschlossen, daß bereits abgeschlossene Flugmanöver die Extrapolation beeinträchtigen.

Die Maßnahme gemäß Anspruch 6 führt ebenfalls zu

einer Verbesserung der Voraussagegenauigkeit, da die größeren Absolutbeträge des jeweils ermittelten Extrapolationsfehlers bessere Aussagefähigkeit besitzen als der in der Nähe des Rauschens liegende Extrapolationsfehler bei kleinerem Voraussage-Zeitintervall.

Die Erfindung wird im folgenden an bevorzugten Ausführungsbeispielen an Hand der Zeichnung erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine blockschemaartige, wesentlich vereinfachte Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Überwachung von Flugobjekten;

Fig. 2 ein vereinfachtes Blockschaltbild einer in Verbindung mit einem Feuerleitrechner eingesetzten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Überwachungsvorrichtung und

Fig. 3 ein Funktionsdiagramm für das Blockschaltbild gemäß Fig. 2.

Mit Hilfe der allgemein mit 10 bezeichneten Vorrichtung zur Überwachung von Flugobjekten gemäß Fig. 1 soll eine möglichst gute Abschätzung für einen zukünftig von einem Flugobjekt 12 eingenommenen Ort ermöglicht werden. In den Fig. ist mit  $\text{Index}_m$  angedeutet, daß der indizierte Parameterwert aus einer Messung resultiert und einen dem Meßzeitpunkt zugeordneten momentanen Wert angibt und mit  $\text{Index}_b$  die Tatsache, daß der indizierte Parameterwert aufgrund einer Extrapolationsberechnung ermittelt worden ist. Man erkennt in Fig. 1 eine Meß- (und Rechen)einheit 14 zur Messung des Ortes  $r_m$  des Flugobjekts 12, beispielsweise mittels Radar (Radarschirm 15) und zur Abschätzung der momentanen Geschwindigkeit  $v_m$  sowie der momentanen Beschleunigung  $b_m$ .

Die erhaltenen Werte werden in einer mit 16 bezeichneten ersten Extrapolationseinheit zugeführt, welche beispielsweise unter der Annahme konstanter Beschleunigung den Ort  $r_b$  zu einem zukünftigen Zeitpunkt vorausberechnet. Der Verbesserung dieses vorausgerechneten Wertes  $r_b$  dient eine zweite Extrapolationseinheit 18, welche einen mit  $\Delta r_b$  bezeichneten Extrapolationsfehler berechnet und mit einem Subtraktionsglied 20 zuführt, welches  $\hat{r} = r_b - \Delta r_b$  bildet. Dieser korrigierte Wert  $\hat{r}$  kann weiterverarbeitet werden, beispielsweise zur Anzeige des zukünftigen Flugobjektortes auf einem Bildschirm. Das der Extrapolation in der zweiten Extrapolationseinheit 18 zugrundeliegende Fehlermodell wird an den zeitlichen Verlauf der tatsächlich auftretenden Extrapolationsfehler  $\Delta r_m$  angepaßt. Der tatsächliche Extrapolationsfehler  $\Delta r_m$  ist die Abweichung des vorausgerechneten Ortes  $r_b$  vom dann tatsächlich vom Flugobjekt 12 eingenommenen Ort  $r_m$ .

In den Fig. 2 und 3 ist ein spezieller Anwendungsfall der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellt, nämlich in Verbindung mit einem Feuerleitrechner einer Flugabwehreinheit. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist allgemein mit 110 bezeichnet und ist zum einen an eine Radarmeßeinheit 114 mit Radarschirm 115 angeschlossen sowie über eine Ausgabeleitung 116 an eine nicht dargestellte Flugabwehrbatterie. Die Radarmeßeinheit 114 liefert Meßwerte  $r_m$  an einen Feuerleitrechner 118, welcher die Beschleunigung  $b_m$  und Richtwinkel  $\alpha_m$  (Seite) und  $\beta_m$  (Höhe) berechnet. Der Feuerleitrechner 118 ist sowohl an einen Speicher 120 angeschlossen als auch an ein erstes und ein zweites Subtraktionsglied 122 und 124. Das erste Subtraktionsglied 122 ist einseitig mit dem Speicher 120 verbunden und ausgangsseitig mit dem Eingang eines Prädiktionsfilters (Signalextrapolator) 126. Der Ausgang des Prädiktionsfilters 126 wiederum ist mit dem zweiten Subtraktions-

glied 124 verbunden, dessen Ausgang an die erwähnte Ausgangsleitung 116 der Vorrichtung 110 angeschlossen ist. Eine Systemuhr 130 steuert sowohl die Radarmeßeinheit 116 wie auch den Feuerleitrechner 118 sowie den Speicher 120.

Der Funktionsablauf der Anordnung gemäß Fig. 2 wird im folgenden an Hand von Fig. 3 erläutert.

Zu einem willkürlich herausgegriffenen Zeitpunkt, beispielsweise dem Zeitpunkt  $k-1$  wird eine Radarmessung durchgeführt und der momentane Ort  $r_m$  sowie die momentane Geschwindigkeit  $v_m$  und Beschleunigung  $b_m$  (im Feuerleitrechner 118) ermittelt. Dies ist im strichliert angedeuteten Block 132 in Fig. 3 angedeutet. Anschließend wird durch den Feuerleitrechner 118 ggf. unter der Annahme gleichbleibender Beschleunigung  $b_m$  der Ort  $r_b$  des Flugobjekts zur Zeit  $k' = k + T_k$  vorausberechnet. Hierbei ist mit  $k$  der auf den Meßzeitpunkt  $k-1$  nächstfolgende Meßzeitpunkt bezeichnet und mit  $T_k$  die Flugzeit des zur Bekämpfung des Flugobjekts bestimmten Projektils bis zum Erreichen des Orts  $r_b$ . In einem mit 134 bezeichneten Block des Zeitdiagramms gemäß Fig. 3 mit senkrecht nach unten verlaufender Zeitachse wird nach Berechnung von  $r_b$  die Berechnung von Richtwinkeln  $\alpha_b$  und  $\beta_b$  (Seite und Höhe) vorgenommen. Der vorausberechnete Ort  $r_b$  entspricht jedoch nicht dem dann tatsächlich erreichten Ort  $r_m$ , was vor allem auf Meßfehler der Radarmeßeinheit 114 zurückzuführen ist und ggf. auch auf plötzliche Bewegungsänderung des Flugobjekts 12. Es hat sich nun gezeigt, daß in vielen Fällen diese Extrapolationsfehler einen charakteristischen zeitlichen Verlauf aufweisen, welcher in befriedigender Weise durch eine stochastisch erregte gedämpfte Schwingung angenähert werden kann mit den Parametern Eigenfrequenz, Dämpfung und Stärke der Erregung. An Hand der jeweils gemessenen Extrapolationsfehler in einem Zeitintervall, welcher vom momentanen Zeitpunkt jeweils einige Sekunden zurückreicht, lassen sich die angegebenen Modellparameter in ausreichender Genauigkeit ermitteln. An Hand des so angepaßten Modells lassen sich die für den Zeitpunkt  $t = k$  zu erwartenden Extrapolationsfehler vorausberechnen, welche im vorliegenden Falle Richtwinkel-Korrekturen  $\Delta\alpha_b$  und  $\Delta\beta_b$  bilden. Diese im Block 136 gemäß Fig. 3 bzw. im Prädiktionsfilter 126 gemäß Fig. 2 gebildeten Korrekturwerte werden im Subtraktionsglied 124 bzw. im Block 138 von den vorausberechneten Werten  $\alpha_b$  und  $\beta_b$  abgezogen, worauf man die korrigierten Winkelwerte  $\alpha$  und  $\beta$  erhält. Diese korrigierten Werte werden über die Leitung 116 der Flugabwehrbatterie zugeführt.

Im Block 140 gemäß Fig. 3 wird nun mit Hilfe einer entsprechenden Radarmessung zum Zeitpunkt  $k'$  der vom Flugobjekt zum angenommenen Trefferzeitpunkt  $k' = k + T_k$  tatsächlich eingenommene Ort  $r_m$  festgestellt und hieraus mittels des Feuerleitrechners 118 eine Berechnung der Richtwinkel  $\alpha_m$  und  $\beta_m$  vorgenommen, d. h. derjenige Richtwinkel, welche zu einem Treffer am Ort  $r_m$  führen würden.

Als nächstes wird im Block 142 gemäß Fig. 3 mit Hilfe des Subtraktionsglieds 122 in Fig. 2 der tatsächlich auftretende Extrapolationsfehler  $\Delta\alpha_m = \alpha_m - \alpha_b$  und  $\Delta\beta_m = \beta_m - \beta_b$  berechnet. Es ist klar, daß der Speicher 120 bis zu diesem Zeitpunkt  $k'$  die bereits zum Zeitpunkt  $k$  ermittelten Werte  $\alpha_b$  und  $\beta_b$  abgespeichert hat.

Diese Extrapolationsfehler  $\Delta\alpha_m$  und  $\Delta\beta_m$  werden nun zur Beendigung dieser Zeitschleife dem Block 136 in Fig. 3 entsprechend dem Prädiktionsfilter 126 in Fig. 2 zugeführt zur Anpassung der Modellparameter. Es be-

ginnt eine neue Schleife mit einer weiteren Radarmessung im Block 132 gemäß Fig. 3 zu einem nächstfolgenden Zeitpunkt. Dieser Zeitpunkt kann später liegen als der Zeitpunkt  $k'$  oder auch früher (z. B. zum Zeitpunkt  $k$ ), wobei dann dementsprechend durch entsprechende Ausbildung des Speichers 120 und entsprechende gleichzeitige Steuerung durch die Systemuhr 130 dafür gesorgt werden muß, daß dementsprechend viele Werte  $\alpha_b$  und  $\beta_b$  im Speicher 120 zwischengespeichert und jeweils dann an das Subtraktionsglied 122 abgegeben werden, wenn die zugeordneten Winkelwerte  $\alpha_m$  und  $\beta_m$  zur Verfügung stehen.

Die Anpassung der Parameter des Fehlermodells an die jeweils gemessenen Extrapolationsfehler  $\Delta\alpha_m$  und  $\Delta\beta_m$  sowie die Vorausberechnung zukünftiger Extrapolationsfehler  $\Delta\alpha_b$  und  $\Delta\beta_b$  wird im Prädiktionsfilter 126 vorgenommen. Dieser kann auch als Signalextrapolator, Vorhersagefilter, Prädiktor oder Datenextrapolator bezeichnet werden. Mit Hilfe von Extrapolationsfiltern, wie diese bei der Digital-Analog-Wandlung häufig eingesetzt werden (s. beispielsweise Taschenbuch "Elektrotechnik", Karl Hanser-Verlag, München-Wien 1978, Band III, ab Seite 898), läßt sich aus der bekannten Vergangenheit einer Zahlenfolge das zugehörige kontinuierliche analoge zeitabhängige Signal extrapolieren, und beispielsweise ein zukünftiger Funktionswert berechnen. Der Extrapolation können beispielsweise Polynome zugrunde gelegt werden oder, wie im vorliegenden Falle, eine stochastisch erregte gedämpfte Schwingung. Dem Entwurf des Prädiktionsfilters 126 liegt ein Zustandsmodell einer zeitinvarianten, linearen, stochastischen Differenzialgleichung zweiter Ordnung zugrunde. Mit Hilfe des Kalman-Filter-Algorithmus (s. z. B. Ch. Landgraf: stochastische lineare Systeme, TU Berlin, Brennpunkt Kybernetik 1979) läßt sich der Prädiktionsfilter 126 mit den gewünschten Eigenschaften entwerfen. Am Eingang des Prädiktionsfilters liegen die gemessenen Extrapolationsfehler  $\Delta\alpha_m$  und  $\Delta\beta_m$  an; das Ausgangssignal des Prädiktionsfilters bilden die vorausberechneten Extrapolationsfehler  $\Delta\alpha_b$  und  $\Delta\beta_b$ . Die Bandbreite des Prädiktionsfilters 126 ist derart festgelegt, daß Einfluß weiter zurückliegender gemessener Subtraktionsfehler derart rasch abfällt, daß im wesentlichen lediglich gemessene Extrapolationsfehler aus einem im Sekundenbereich liegenden Zeitintervall sich auf die Anpassung der Modellparameter (Kreisfrequenz, Dämpfungskonstante und Erregungsgröße) auswirken.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2 und 3 werden aus den gemessenen und extrapolierten Orten  $r_m$  bzw.  $r_b$  jeweils Richtwinkel  $\alpha$  und  $\beta$  berechnet, die wiederum zur Extrapolationsfehlerminimierung in den Blöcken 142 und 138 verwendet werden. Es ist offensichtlich, daß in anderen Anwendungsfällen, beispielsweise in dem in Fig. 1 dargestellten Fall, auf die Zwischenrechnung (Berechnung der Richtwinkel aus den Orten) verzichtet werden kann, unter entsprechender Vereinfachung des Zeitdiagramms gemäß Fig. 3.

Gemäß den Figuren ist im Vorstehenden jeweils unter  $r$  der Ortsvektor  $\vec{r}$  zu verstehen und dementsprechend unter  $v$  und  $b$  jeweils der Geschwindigkeitsvektor  $\vec{v}$  und der Beschleunigungsvektor  $\vec{b}$ .

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Überwachung von Flugobjekten (12) mit einer Meßeinheit (14; 114) zur Feststellung von momentanen Orts-Bewegungsparametern ( $r_m$ ;  $\alpha_m$ ,  $\beta_m$ ) eines Flugobjektes (12) und mit einer ersten

Extrapolationseinheit (16; 118) zur Voraussage zukünftiger Ortsparameter ( $r_b$ ;  $\alpha_b$ ,  $\beta_b$ ), ggf. unter der Annahme, daß einer der Bewegungsparameter ( $b$ ) des Flugobjekts (12) konstant bleibt, dadurch gekennzeichnet, daß eine zweite Extrapolationseinheit (18; 20; 120, 122, 124, 126, 130) vorgesehen ist, welche den Extrapolationsfehler ( $\Delta r$ ;  $\Delta \alpha$ ,  $\Delta \beta$ ) als Differenz zwischen den für einen Zeitpunkt ( $k'$ ) vorausgerechneten Ortsparametern ( $r_b$ ;  $\alpha_b$ ,  $\beta_b$ ) und den zu diesem Zeitpunkt tatsächlich vom Flugobjekt (12) eingenommenen Ortsparametern ( $r_m$ ;  $\alpha_m$ ,  $\beta_m$ ) berücksichtigt und diesen Extrapolationsfehler ( $\Delta r$ ;  $\Delta \alpha$ ;  $\Delta \beta$ ) dadurch minimiert, daß es ein dem zeitlichen Verlauf aufeinanderfolgender Extrapolationsfehler zugrunde gelegtes Fehlermodell fortlaufend anpaßt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen an die erste Extrapolationseinheit (118) angeschlossenen Zwischenspeicher (120) für die vorausgerechneten Ortsparameter ( $\alpha_b$ ,  $\beta_b$ ) sowie ein an den Zwischenspeicher (120) angeschlossenes Subtraktionsglied (122) zur Ermittlung des Extrapolationsfehlers ( $\Delta \alpha_m$ ,  $\Delta \beta_m$ ).

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Extrapolationseinheit (120 bis 130) einen dem Fehlermodell entsprechend ausgelegten, ggf. an den Ausgang des Subtraktionsglieds (122) angeschlossenen Prädiktionsfilter (126) umfaßt.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Fehlermodell eine gedämpfte Schwingung, vorzugsweise mit stochastischer Erregung, eingesetzt ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Extrapolationseinheit (120 bis 130) zur Optimierung des Fehlermodells im wesentlichen lediglich zurückliegende gemessene Extrapolationsfehler in einem Zeitintervall im Bereich zwischen 0,1 Sek. und 50 Sek., vorzugsweise 1 bis 10 Sek. berücksichtigt, ggf. durch entsprechende Festlegung der Bandbreite des Prädiktionsfilters (126).

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Voraussage-Zeitintervall ( $k' - k$ ) groß ist gegenüber dem Zeitabstand aufeinanderfolgender Ortsmessungen und vorzugsweise im Bereich zwischen 0,1 und 20 Sek. am besten zwischen 1 und 10 Sek. liegt.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem die erste Extrapolationseinheit umfassenden Feuerleitrechner (118) für die Ortsparameter bildende Richtwinkel ( $\alpha_b$  und  $\beta_b$ ), dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Extrapolationseinheit (120 bis 130) die Extrapolationsfehler ( $\Delta \alpha_m$ ,  $\Delta \beta_m$ ) als Differenz zwischen den errechneten Richtwinkeln ( $\alpha_b$  und  $\beta_b$ ) für einen Trefferort zu einem bestimmten Treffzeitpunkt und den Richtwinkeln ( $\alpha_m$ ,  $\beta_m$ ), welche dem zum Treffzeitpunkt vom Flugobjekt (12) tatsächlich eingenommenen Ort zugeordnet sind, minimiert.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

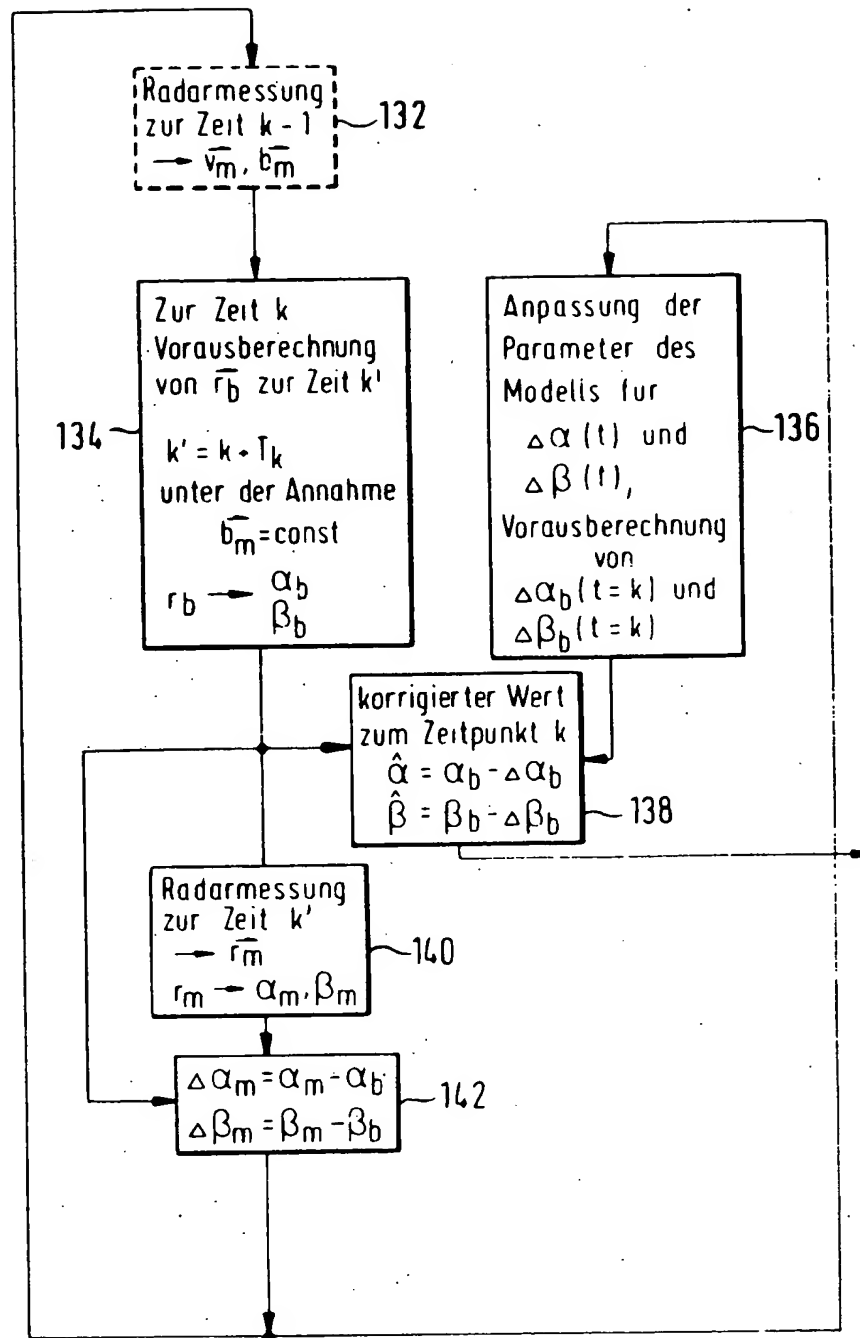


FIG. 3

